VISIT…

LANZAROTE
Caliente.com

3 Comportarea elementelor de beton precomprimat sub sarcini

Pentru a simplifica expunerea, efectul pierderilor de tensiune din armătură este ignorat în acest capitol. El va fi introdus în capitolul următor.

3.1 Evoluția eforturilor unitare în armătură şi în beton în faza inițială

Trebuie definite mai întâi noțiunile de fază inițială şi fază finală :

- prin *fază inițială* se înțelege intervalul de timp care începe odată cu fabricarea elementului şi se termină cu transferul eforturilor de la armătura pretensionată la beton;
- prin *fază finală* se înțelege intervalalul care începe la sfârşitul fazei inițiale şi durează până se dezvoltă toate pierderile de tensiune reologice.

3.1.1 Armături en preîntinse

Întinderea cablurilor se face pe culei fixate în sol şi deformația (alungirea) cablului este ε_{p0}. În momentul transferului eforturilor între armătură şi beton, are loc o scurtare a betonului şi, în acelaşi timp, o scurtare a armăturii, de valoare ε_{bp}. În consecință deformația armăturii scade la valoarea ε_{pp}.

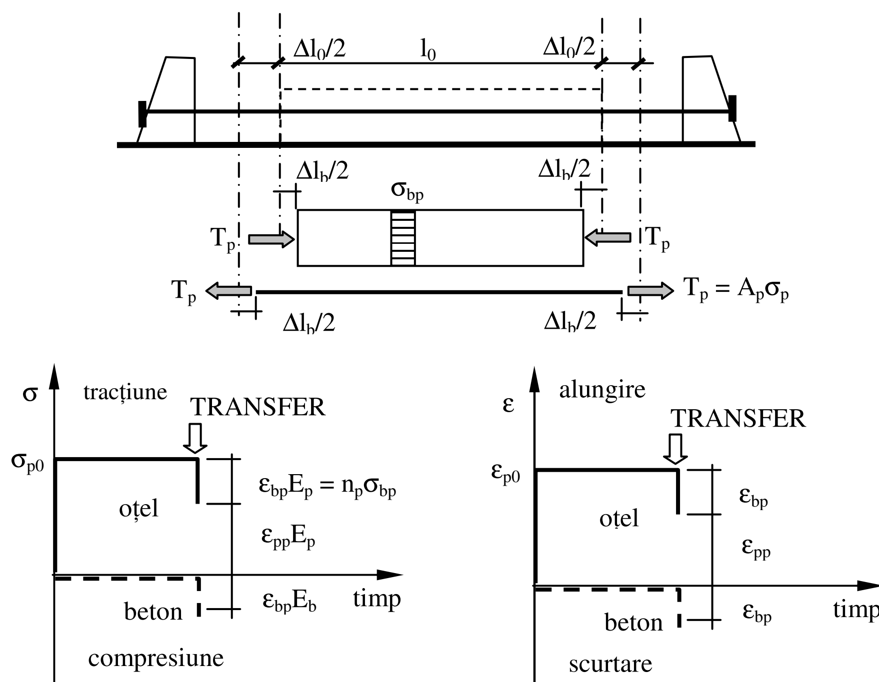


Figura 3.1 – Deformații şi eforturi unitare într-un element precomprimat prin preîntindere în faza inițială

Relația între deformațiile armăturii şi betonului este :

$$\varepsilon_{p0} = \varepsilon_{pp} + \varepsilon_{bp} \tag{3.1}$$

Efortul unitar în armătură înainte de transfer este :

$$\sigma_{p0} = \varepsilon_{p0} E_p \qquad (3.2)$$

Efortul unitar în beton după transfer este :

$$\sigma_{bp} = \varepsilon_{bp} E_b \qquad (3.3)$$

Efortul unitar în armătură după de transfer este :

$$\sigma_{pp} = \varepsilon_{pp} E_p = (\varepsilon_{p0} - \varepsilon_{bp}) E_p = \sigma_{p0} - n_p\, \sigma_{bp} \qquad (3.4)$$

cu $n_p = E_p/E_b$

Echilibrul forțelor interne (compresiunea din beton şi întinderea din armătură) după transfer dă :

$$A_b \sigma_{bp} = A_p \sigma_{pp} \qquad (3.5)$$

De unde rezultă :

$$A_b \sigma_{bp} = A_p(\sigma_{p0} - n_p\, \sigma_{bp}) \Rightarrow \quad \sigma_{bp} = \frac{A_p \sigma_{p0}}{A_b + n_p A_p} = \frac{P_0}{A_{bi}} \qquad (3.6)$$

Se poate ajunge la relația (3.6) şi printr-o altă abordare : dacă se consideră forța de precomprimare P_0 ca o forță exterioară aplicată pe secțiunea echivalentă omogeneizată de arie A_{bi}, efortul unitar în beton este :

$$\sigma_{bp} = \frac{P_0}{A_{bi}}$$

Se pot deci determina deformația şi efortul unitar în beton considerând precomprimarea ca o forță exterioară.

3.1.2 Armături postîntinse

Cazul armăturilor postîntinse este ilustrat în figura 3.2. Echilibrul forțelor interne dă :

$$A_b \sigma_{bp} = A_p \sigma_{pp}$$

Cu : $\sigma_{bp} = \varepsilon_{bp} E_b$ şi $\sigma_{pp} = \varepsilon_{pp} E_p$

Se remarcă similaritatea acestor relații cu cele obținute mai înainte în cazul precomprimării prin preîntendere. Pentru a putea utiliza aceleaşi relații, se defineşte o valoare fictivă a efortului unitar în armătură σ_{p0}, care este efortul unitar în armătura pretensionată care ar corespunde unui efort unitar nul în beton.

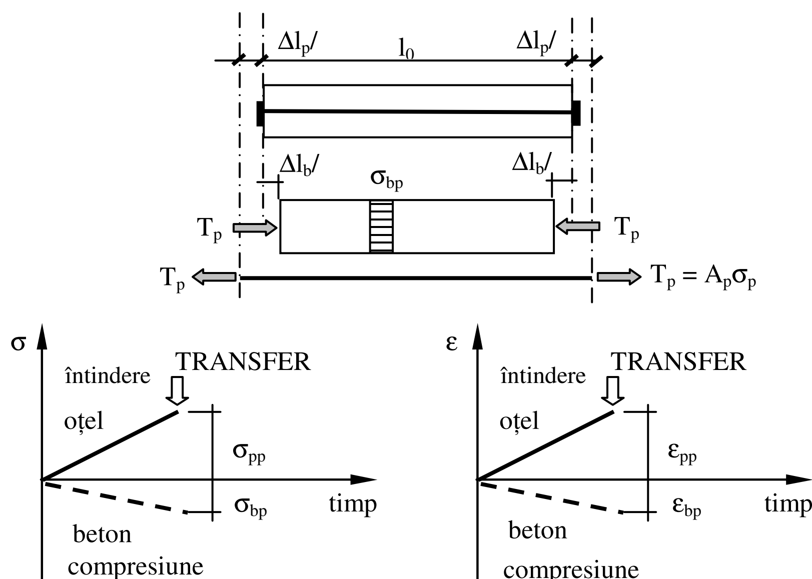


Figure 3.2 – Deformații și eforturi unitare într-un element precomprimat prin postîntindere în faza inițială

3.1.3 Controlul pretensionării

Controlul pretensionării este realizat fie prin măsurarea presiunii în circuitul pompei (cu un manometru), fie prin măsurarea alungirii armăturii (cu un extensometru). În primul caz se obține forța din pompa hidraulică, care este egală cu forța din armătură, iar efortul unitar din armătură este egală cu această forță împărțită la secțiunea armăturii; în cel de-al doilea se obține deformația armăturii și, aplicând legea lui Hooke, efortul unitar.

La procedeul prin preîntindere, valorile măsurate sunt σ_{p0} și ε_{p0}, în timp ce în cazul postîntinderii sunt σ_{pp} și ε_{pp}.

În conclusion, efortul unitar de control σ_{pk} este asociat cu σ_{p0} în cazul preîntinderii și respectiv σ_{pp} în cazul postîntinderii .

Efortul unitar de control σ_{pk} este limitat la valorile următoare (STAS 10107/0-90) :

- pentru armăturile cu $R_{pk} = R_{rk}$ (SBP, SBPA, TBP, etc.) :

$$\sigma_{pk} \leq R_{0,2k} \quad \text{și} \quad \sigma_{pk} \leq R_{pk} \tag{3.7}$$

– pentru armăturile cu $R_{pk} = R_{0,2k}$ (PC 90) :

$$\sigma_{pk} \leq 0{,}95 R_{pk} \tag{3.8}$$

3.2 Tiranți

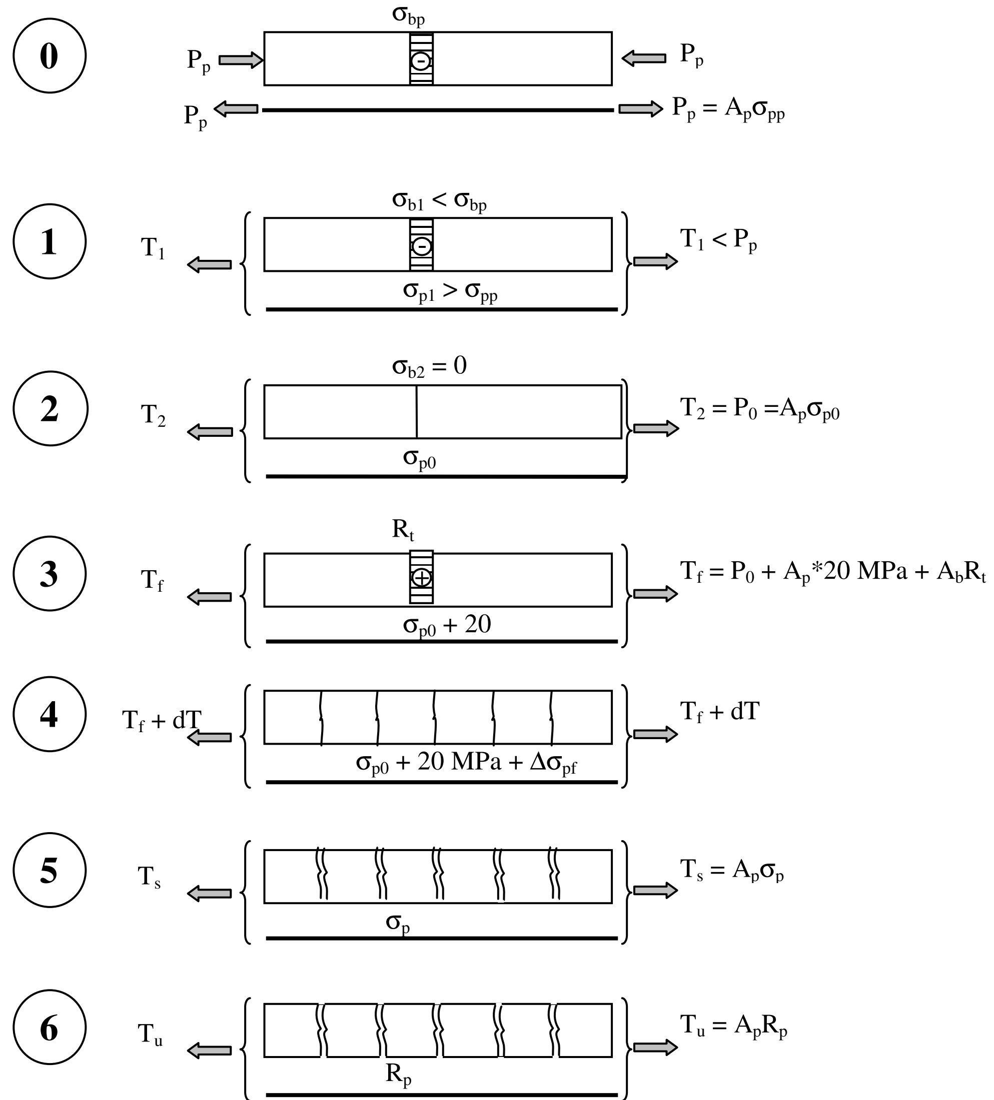


Figura 3.3 – Comportarea unui tirant de beton precomprimat sub încărcări

Situația *0* reprezintă momentul de după transfer : încărcarea exterioară este zero, forța de întindere $A_p\sigma_{pp}$ din armătură şi forța de compresiune $A_b\sigma_{bp}$ în beton sunt în echilibru.

Dacă se aplică o forță $T_1 < A_p\sigma_{pp}$ (situația *1*), compresiunea în beton scade şi întinderea din armătură creşte :

$$\sigma_{b1} = \frac{P_0 - T_1}{A_{bi}} = \sigma_{bp} - \frac{T_1}{A_{bi}} \tag{3.9}$$

$$\sigma_{p1} = \sigma_{pp} + n_p \frac{T_1}{A_{bi}} \tag{3.10}$$

Dacă forța aplicată este egală cu P_0, efortul în beton este zero (decompresiune) : situația *2*.

Forța de fisurare este (vezi situația *3*) :

$$T_{fis}^{BP} = A_p(\sigma_{p0} + 20MPa) + A_b R_t = P_0 + T_{fis}^{BA} \quad (3.11)$$

În momentul fisurării (situația *4*), efortul unitar în armătură crește cu :

$$\Delta\sigma_{pf} = \frac{R_t}{\mu_p} \quad (3.12)$$

unde $\mu_p = \frac{A_p}{A_b}$

În stare fisurată (situația *5*), efortul unitar în armătură este :

$$\sigma_{p2} = \frac{T_S}{A_p} \quad (3.13) \qquad \text{sau} \qquad \sigma_{p0} + \Delta\sigma_p = \frac{T_S}{A_p} \quad (3.14)$$

De unde: $$\Delta\sigma_p = \frac{T_S - P_0}{A_p} \quad (3.16)$$

La starea ultimă, rezistența tirantului este :

$$T_u = A_p R_p \quad (3.17)$$

Evoluția deformațiilor și eforturilor unitare în armătură și beton este prezentată în figura 3.4.

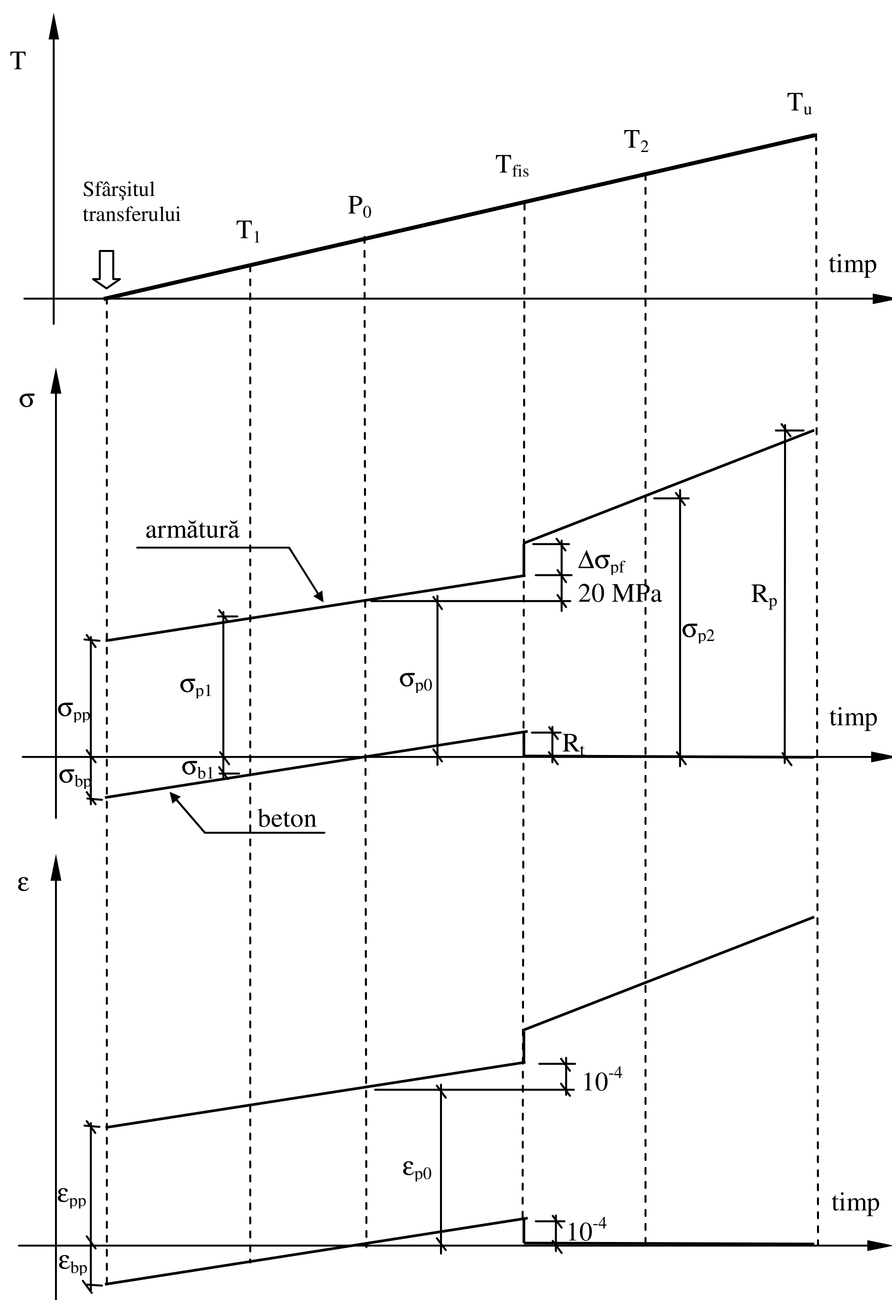


Figura 3.4 – Evoluția eforturilor unitare şi a deformațiilor într-un tirant de beton precomprimat

Relația forță-deformație pentru un tirant de beton precomprimat este dată în fig. 3.5.

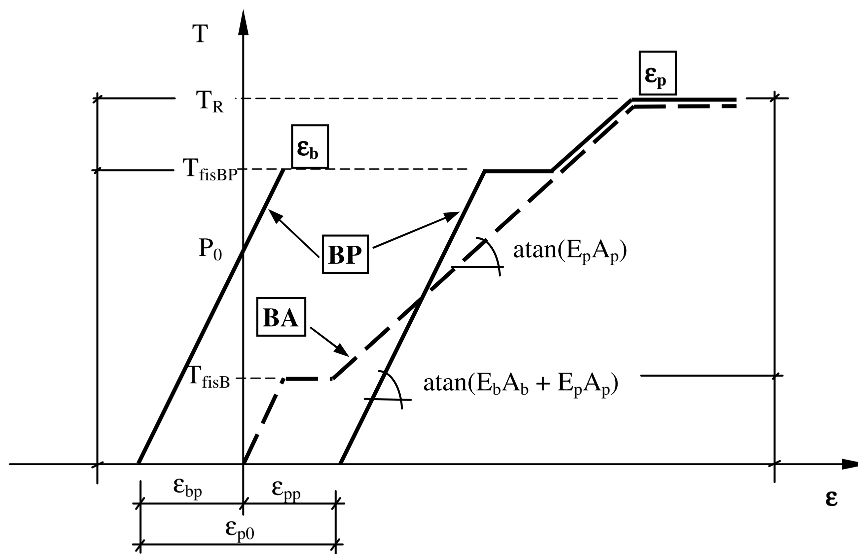


Figura 3.5 – Relația forță-deformație pentru un tirant de beton precomprimat

3.3 Grinzi

Diagramele de deformații şi de eforturi unitare sunt date în figura 3.6.

Faza 0 : după transfer

$$\sigma_{bps} = -\frac{P_0}{A_{bi}} + \frac{P_0 e_{0p} - M_{gp}}{W_{bis}} \qquad (3.17)$$

$$\sigma_{bpi} = -\frac{P_0}{A_{bi}} - \frac{P_0 e_{0p} - M_{gp}}{W_{bii}} \qquad (3.18)$$

$$\sigma_{bp} = -\frac{P_0}{A_{bi}} - \frac{P_0 e_{0p} - M_{gp}}{I_{bi}} e_{0p} \qquad (3.19)$$

$$\sigma_{pp} = \sigma_{p0} - n_p \sigma_{bp} \qquad (3.20)$$

Faza 1 : momentul exterior echilibrează momentul datorat precomprimării

$$M_1 = P_0 e_{0p} \qquad (3.21)$$

$$\sigma_{bps} = \sigma_{bpi} = \sigma_{bp} = -\frac{P_0}{A_{bi}} \qquad (3.22)$$

Faza 2 : efortul unitar în fibra inferioară este nul (decompresie)

Forța axială este situată în acest caz la extremitatea superioară a sîmburelui central :

$$\frac{M_2}{P_0} = e_{0p} + \rho_s \qquad (3.23)$$

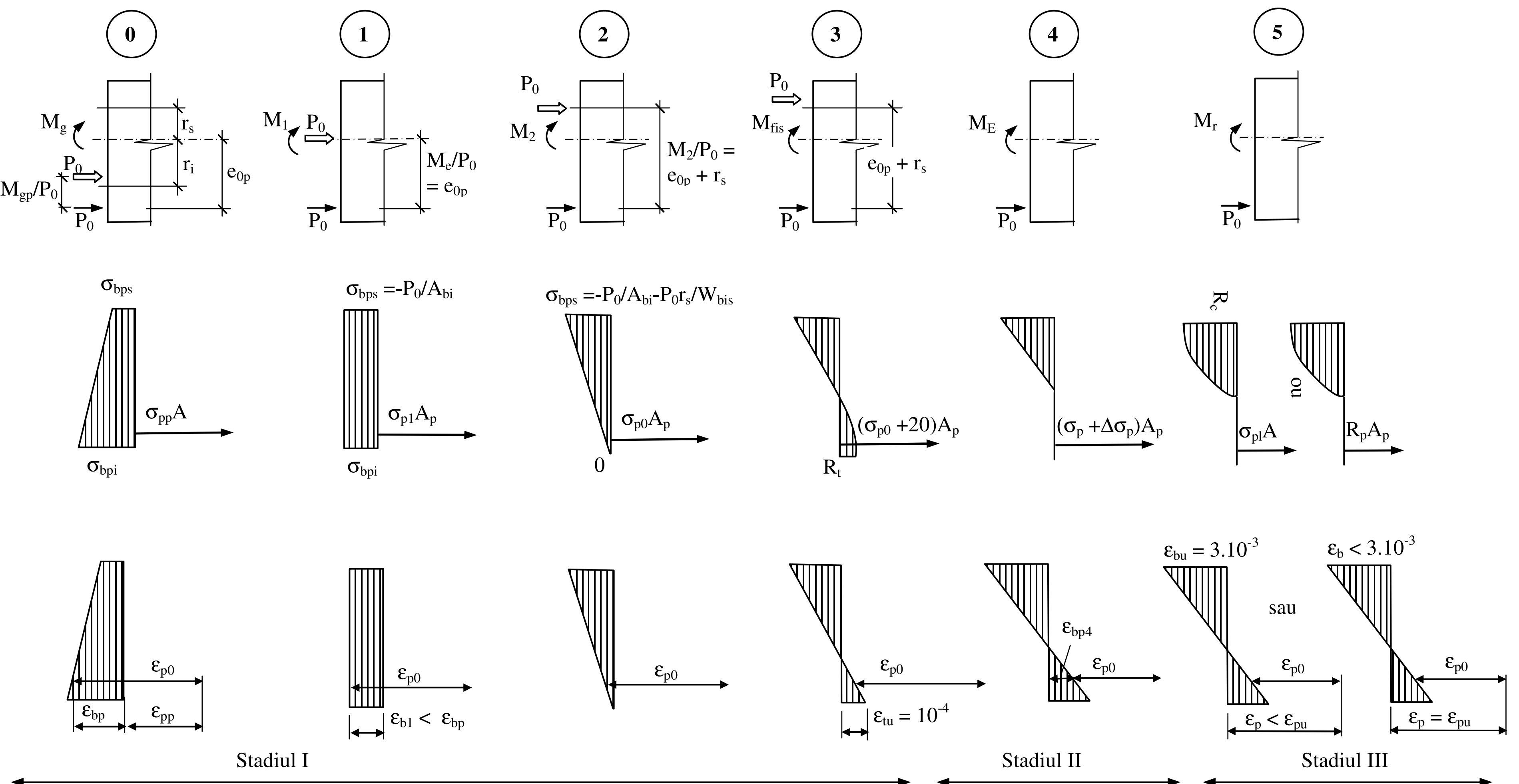


Figura 3.6 – Evoluția eforturilor unitare şi a deformațiilor într-un element solicitat la încovoiere

Eforturile unitare în beton la fibra superioară, la fibra inferioară şi respectiv la nivelul armăturilor pretensionate sunt :

$$\sigma_{bps} = -\frac{P_0}{A_{bi}} + \frac{P_0 e_{0p} - M_2}{W_{bis}} = -\frac{P_0}{A_{bi}} - \frac{P_0 \rho_s}{W_{bis}} = -\frac{P_0}{A_{bi}}\left(1 + \frac{\rho_s}{\rho_i}\right) \quad (3.24)$$

$$\sigma_{bpi} = -\frac{P_0}{A_{bi}} - \frac{P_0 e_{0p} - M_2}{W_{bii}} = 0 \quad (3.25)$$

$$\sigma_{bp} = -\frac{P_0}{A_{bi}} - \frac{P_0 e_{0p} - M_2}{I_{bi}} e_{0p} = -\frac{P_0}{A_{bi}} + \frac{P_0 \rho_s}{I_{bi}} e_{0p} \cong 0 \quad (3.26)$$

Faza 3 : pragul de fisurare : efortul unitar în fibra de beton cea mai întinsă este R_t şi deformaţia în aceeaşi fibră este $\varepsilon_{btu} = 10^{-4}$.

$$M_{fis}^{BP} \cong P_0(e_{0p} + \rho_s) + M_{fis}^{BA} \quad (3.27)$$

$$\sigma_{bp} \cong \sigma_{p0} + 10^{-4} \cdot E_p = \sigma_{p0} + 20MPa \quad (3.28)$$

Observaţii :

- Momentul de fisurare al elementului de beton precomprimat este mai mare decât momentul de fisurare al elementului de beton armat cu valoarea $P_0(e_{0p} + \rho_s)$. Surplusul este deci proporţional cu :
  - Forţa de precomprimare P_0
  - Excentricitatea lui P_0 faţă de extremitatea superioară a sâmburelui central.

- Până aici secţiunea nu era fisurată şi se puteau utiliza les relaţiile din Rezistenţa materialelor pentru secţiunea echivalentă omogenă.

Faza 4 : beton întins fisurate (stadiul II)

După fisurare se produce o creştere a deformaţiei şi efortului din armătură :

$$\sigma_p = \sigma_{p0} + \Delta\varepsilon_p \cdot E_p = \sigma_{p0} + \Delta\sigma_p \quad (3.29)$$

Soluţia problemei (eforturile în beton şi armătură) se obţin ca pentru beton armat în stadiul II, punând condiţiile de echilibru, de compatibilitate geometrică (ipoteza secţiunilor plane) şi scriind legile constitutive ale materialelor. Trebuie totuşi subliniate particularităţile următoare :

- Forţa de precomprimare este considerată ca forţă exterioară
- Coeficientul de echivalenţă trebuie să ţină cont de curegera lentă a betonului $n_{pII} = \frac{E_p}{E_b}(1 + 0.8v\overline{\varphi})$.

Relaţiile de calcul sunt următoarele :

$$\int_0^x b_y \sigma_b dy = A_p(\Delta\sigma_p + \overline{\sigma}_{p0}) \quad (3.30)$$

$$M_E = z \cdot A_p(\Delta\sigma_p + \overline{\sigma}_{p0}) \quad (3.31)$$

cu :

$$z = \frac{\int_0^x y b_y \sigma_b dy}{\int_0^x b_y \sigma_b dy} + h_0 - x \qquad (3.32)$$

şi :

$$\frac{\Delta\sigma_p}{\sigma_b^{max}} = \frac{h_0 - x}{x} \cdot n_p (1 + 0{,}8\overline{\varphi} v) \qquad (3.33)$$

Faza 5 : Ruperea (stadiul III)

Ruperea este « fragilă » (fără deformaţii plastice importante în armătură). Pot apărea două situaţii :

- Ruperea prin betonul comprimat ($\varepsilon_{b,\ max} = \varepsilon_{bu} = 0.003$), fără ca armătura să-şi atingă rezistenţa $\sigma_{pl} < R_p$;
- Ruperea prin armătură $\sigma_p = R_p$,.

Calculul este similar cu cel pentru secţiunea de beton armat (vezi [4]), cu anumite particularităţi particularités :

- Trebuie ţinut cont de deformaţia iniţială datorată pretensionării (ε_{p0}) în armătură şi
- Trebuie ţinut cont de legea constitutivă a armăturii, care nu prezintă un palier plastic ca armăturile pentru beton armat.

Concluzie :

Precomprimarea ridică paragul de fisurare cu mărimea $P_0(e_{0p} + \rho_s)$. Aceasta face ca elementul să lucrezefără fisuri sub încărcările de exploatare.